

# 科学教育の成立と実験室教授法

寺 川 智 祐

岡山理科大学理学部基礎理学科

(1995年9月30日 受理)

## はじめに ― 研究の目的と視点

わが国の科学教育の研究においては、本来その基礎の一つとなるべき科学教育の成立に関する研究はほとんど見られなかったが、最近に至ってようやくアメリカ、イギリス、ドイツ、フランスにおける科学教育の成立過程に関する研究が行なわれるようになり、その経緯が明らかになり始めた。

科学教育の成立を考えると、まず最初に問題になるのは、何をもって科学教育の成立とするかということであるが、それについては次の2つの考え方がある。その第1は、物理、化学、生物、地学などが授業科目として設置された時をもって科学教育が成立したとする見方である。第2は、一般教育としての科学教育の目的観の確立と、目的達成の方法ならびにそれにふさわしい内容が与えられたときをもって初めて科学教育が成立したとする考え方で、第1の場合のように科学の諸科目が学校教育の中に導入されただけでは科学教育が成立したとはみなさない立場である。第1の立場に立てば、それ以降の目的観や教授・学習法確立の過程は発展の過程であるし、第2の立場に立てば、それまでの過程は科学教育成立の前段階として位置づけられるであろう。いずれにせよ、科学教育の成立と発展を厳密に考えれば、検討すべきいろいろな問題があるが、本小論では物理、化学、生物、地学などの教科が学校で教えられるようになった時点を経験として科学の学校教育の中への導入とし、一般教育としての目的観が明確化され、それに相応する方法並びに内容の確立をもって科学教育の成立とする立場をとった。

科学の諸科目が学校で教えられるようになった経緯は国によって異なっているが、その過程は次の2つに代表される。

### ① ドイツやわが国に見られた事例

ドイツでは、1812年の教育改革にあたって、ギムナジウムの卒業試験に関する規定(この試験に合格した者だけが大学に進学できる資格が与えられる)が設けられたとき、物理、化学、博物が必修科目として課せられた。科学の諸科目がギムナジウムで必修的に教えられるようになったのは、1809年創立のベルリン大学に端を発し、その後急速に他の大学にも広まった自然科学の研究・教育に必要な予備的措置として、教育行政的にとられた対応であったが、これによってドイツは公的学校の中で科学を組織的に教える最初の国となっ

た。明治5年(1872年)の「学制」施行にあたって、教育行政的に科学教育を課していったわが国の場合もこの例に属する。

## ② イギリスの事例

第2はイギリスに見られた事例で、国家が教育行政的に科学諸科目を設定し、これを必修的に課していくのではなく、社会的要請にともなって各学校や地方自治組織の自主的な判断によって科学教育を行なっていた場合である。イギリスでは産業革命の発展にともなって、1830年代頃から若年工業労働者を対象として実用的・实际的立場から生産技能を向上させるための教授が始められるようになり、必要に応じて科学の基礎的なことが、私的に教えられるようになっていった。このような科学教育を行なう学校(学級)は技術学校(Mechanics' Institute)と言われていたが、そこでの科学教育は次第にイギリスの科学教育の基礎をつくっていった。この技術学校は1850年頃まで広く普及していったけれども、その後は衰退し、1850年を過ぎた頃からはイギリスの中等学校を代表するグラマースクールやパブリックスクールで次第に科学が教えられるようになっていった。

このように、科学教育の始まりは、国によって異なっており画一的に論じることにはできないが、科学教育が行われるようになった当初は、いずれの場合も一般教育としての目的や目的達成の方法が論じられることもなく、自然諸科学の体系にしたがって知識が教授されるだけであった。科学教育は一般教育としての体系を確立した後で、その体系に基づいて教育を行なっていたのではない。科学教育は大学における自然科学に対する予備的・準備的教育の必要性から自然諸科学の知識の教授という形で始まったにせよ、あるいは実用的立場からの要請に基づいて教えられるようになったにせよ、まず科学的知識の教授から始まり、その後で一般教育としての目的、内容、方法が論じられ、自らの体系を確立していったのである。しかし、その過程は決して容易ではなかったし、また多くの要件が満たされなければならなかった。その中でも特に重要なものは実験を学習の基本とする教授・学習法の導入であった。

科学が学校で教えられるようになった当初は、ほとんどが教科書を中心とする知識注入的講義式授業であった。もちろん時には実験が行なわれることもあったが、その殆どは検証の実験か教師の演示実験で、教科書に書かれていることを補足的に証明するだけのものでしかなかった。このような状況の中で科学教育に一般教育としての目的観と、人間形成における陶冶機能を具体化する手段を与え、科学教育の確立に大きな役割を果たしていったのが発見的・探求の実験であった。

周知のように、17世紀にガリレイ、ニュートン、ケプラー、ハーヴィー、パスカル、トリチェリー、ボイル、マルピギー、フック、ホイヘンス、レーヴェンフックなど多くの科学者によって発展されていった近代自然科学の基礎となったものは、実験・観察とそれに基づく推理であった。実験や観察によって得られた事実に基づいて推理を展開し、結論を導き出していく新しい科学の研究方法は、観念論的、思弁的要素を多分に残し、確立され

た権威や古典、聖書などに拠り所を求めていた古代や中世の自然科学と、近代自然科学とを明確に分けることになった。一方、こうした実験的研究方法はフランシス・ベーコンやデカルトなどによって論理的に体系化され、科学の方法として近代自然科学に明確な方法的・論理的論拠を与えた。

このような実験が科学教育の中に導入されると、特に次の2点において科学教育の発展に大きく貢献していった。その第1は、従来の知識注入的段階以上にでることがなかった科学教育に、科学的思考力や科学的態度の育成、問題解決の方法としての科学的方法の習得、科学的精神の涵養などのような目的と陶冶手段を与え、科学教育の特性、教科としての存在理由、存在価値を明確なものにしていったことである。第2は、発見的実験が近代自然科学研究の基礎となったと同じように、科学教育への発見的実験の導入は、ルソー、ペスタロッチなどによって基礎づけられた近代教育の原理の一つである“子どもの自己活動”に具体的な方法と内容を与え、それによって近代自然科学の研究方法与近代教育の原理が科学の学習の場において統一され、科学教育の確立に大きな役割を果たしたことである。これは、これまで理念以上には出ることができなかった近代教育が、理念実践の段階へと発展していく具体的な手段を得たことを意味するものでもあった。

本小論は、このような視点から、科学教育の成立に果たした実験の役割を実験室教授法(Laboratory teaching)を通して明らかにしようとするものである。

## 1. 学校教育の中への科学教育の導入

18・19世紀になると、自然科学界においては、コペルニクス、プラーエ、ガリレイ、ケプラー、ギルバート、ニュートン、パスカル、トリチェリなどをはじめとする多くの科学者により、実験・観察を基本とする新しい科学が始められる一方、帰納法で知られるベーコンや演繹法を中心としたデカルトなどによって科学研究の方法論が体系化され、科学研究の論理的基礎が確立されていった。さらにこの時代には宗教改革やマゼランの世界一周を契機とした大航海時代が始まり、産業革命の発展による工業化社会の出現、フランスに起った民主主義革命や啓蒙哲学、カントに代表される哲学の発展など、17世紀から18世紀にかけてヨーロッパでは宗教、思想、文学、政治、経済、科学、芸術あらゆる分野において大きな変化が起こっていた。さらに科学がもたらす新知識によって、宇宙観、世界観、自然観、人間観、生命観、物質観、ならびにそれらに基づく価値観が次々と書き替えられ、こうした事実を背景として新時代にふさわしい教育を求める社会的要請は次第に高まっていった。しかし、それにもかかわらず学校では依然として古典語や宗教、文学、歴史、数学、3Rsなどを中心とした中世時代からの伝統的教科と知識注入的教授が支配的で、変革しつつある新しい社会が必要とする教育には応えられなくなっており、新時代にふさわしい学校教育への脱皮は最早避けて通ることができない状態になっていた。

コメニウスやルソー、ペスタロッチ、フレーベルなどによる教育改革の背景に、われ

われはこのような社会の変革を見ることができるが、特に近代学校教育の確立に大きな役割を果たしたコメニウスやルソーの教育論には、自然科学から大きな影響があったことはよく知られているところである。事実、彼等の教育論の基本的原理、即ち既存の権威や知識を絶対的なものとして受け止め、これを教えていくのではなく、子どもが自然の事物現象を主体的に探求的に自己活動を通して学びとっていくことを教授・学習の基本とする教育原理は、まさしく近代自然科学を生み、育て、発展させていった原動力と軌を同じくするものであった。換言すれば、近代自然科学を生み、発展させていったと同じ原動力の教育への噴出が、近代教育を産み、育て、発展させていったとも言えるであろう。われわれは「子どもに科学を教えるな。子どもに科学を創造（発見）させよ」、「為すことによって学べ」、「書物ではなく、自然の事物現象を研究せよ」などを強調して教師が一方的に知識を教え、子どもはそれを暗記するだけの知識注入的講義式教授を徹底的に批判し、子どもが自らの興味・関心に基づいて意欲的に、主体的に、自己活動を通して学び取っていく教育を学習の基本としたルソーの教育論にその典型を見ることができる。

しかし、彼等が強調するような教育は容易には理解されなかった。科学が教科の一つとして学校で組織的に教えられるようになったのは19世紀になってからである。ドイツでは1812年に世界に先駆けて科学が公立学校で組織的に教えられていったが、科学が教科の一つとして自らの地位を確かなものにするには、さらにそれからおよそ80年もの長きにわたる科学の教育的意義や価値についての論争を経ねばならなかった。イギリスも基本的にはドイツと同じ過程を辿ったが、イギリスでは産業革命に伴う工業の発展により、まず実際の・実用的な側面から科学の学校教育への導入が促進され、科学の実用的価値が科学を学校教育の中へ導入する上の大きな要因となっていた。しかし、科学の持つ実用性はその実用性故に科学の実用的側面が強く印象づけられ、科学には実用的価値はあっても教養的、人間形成的、一般教育的陶冶価値はないとする見方がことさらに強められていった。教養的、一般教育的価値がないものは教育としてふさわしくないとする考えが支配的であった当時、科学の実用的価値はかえって教科としての科学の地位を確立する上の障害になっていたのである。したがって、科学が教科の一つとして学校で教えられるようになるためには、その前にまず科学の教養的、一般教育的価値についての認知が得られなければならなかった。かくして、ドイツでもイギリスでも科学教育の必要性を強調した人々、たとえばドイツのディーステルヴェーク、ヘフラー、ハーン、シュヴァルベ、ノアークなど、イギリスではファラデー、スペンサー、ハクスレー、アームストロングなど進歩的教育学者や科学者は科学を学校教育の中に導入するにあたって、まず科学教育の教養的価値、一般教育的価値についての啓蒙から始めなければならなかった。このような経緯の中で科学の教科としての地位は徐々に確立されていったが、その過程はドイツ型とイギリス型の2つに大別できるように思われる。

### (1) ドイツの場合

ドイツでは、科学の学校教育の中への導入と普及は、1809年創設のベルリン大学に代表されるように、ナポレオン戦争後、新人文主義のもとに自然科学の研究・教育に門戸を開き、自然科学を大学における重要な研究・教育の領域の一つに位置づけていった教育改革運動と密接に関連していた。その間の事情を皇至道は次のように述べているが、ベルリン大学に始まった近世ドイツ大学の発展は、科学教育の普及と発展に直接的な影響を与えたのである。

「当代を代表する典型的大学は1809年に新設されたベルリン大学である。……中世大学は学問の伝統を目的としたが故にその組織は専ら学問の伝統を保持するための組織に他ならなかった。これに反し近世の大学は科学的真理の創造を目的としたが故にその組織も亦研究の自由を確保するための組織であった。……第19世紀の20年代の終頃より言語学的・歴史科学的研究と相並んで数学的・自然科学的研究が勃興した。ゲッチンゲン大学には数学者ガウス、物理学者ヴェーバーが活躍して数学及び物理学の研究に新生面を開き、リービッヒはギーセン大学に化学の実験室を起こして化学及び化学工業方面の開拓者となり多くの後進を養成した。ミュラーはベルリン大学において生理学の新学派を起こした。ミュラー及びその学徒の業績は生命現象を自然哲学的・思弁的立場より開放して、純粋に自然科学的立場に移したところにある。かくして医学は純粋に自然科学的基礎の上に立つに至ったのである」。<sup>1)</sup>

このようにしてドイツの大学は、それ以降、科学の研究・教育の分野において指導的な立場に立つことになった。19世紀初頭にドイツに近代的大学の設立をもたらした、自然科学の研究・教育の確立と発展の原動力の一つになった新人文主義は、ドイツの中等教育や初等教育においてもその指導原理となり、中等学校への科学教育の導入に大きな役割を果たした。1812年にプロシアの学校教育の改革にあたってギムナジウム卒業試験規定（大学入学資格試験）が作成されたとき、ラテン語、ギリシャ語、フランス語、ドイツ語、歴史、地理、数学と並んで物理学、博物学が必修科目となった。公的な中等学校で、科学が必修科目として組織的に教授されるようになったのは、世界において最初のことであった。ただ、当時ギムナジウムに進学する生徒数は少数であったので、科学が広く教えられるようになったとは言い難いが、科学が正規の教科の一つとして必修的に教えられるようになった意味は大きなものがある。以後、ドイツではギムナジウムにおいて科学は不可欠な教科となったが、その地位は低かった。科学の教育的意義と価値に対する疑念は少なくなく、19世紀末頃までのおよそ80年もの長きにわたって、その教育的意義と価値、つまり科学には教育的・陶冶的価値があるのか、あるとすればどのような価値か、それはどのようにすれば効果的に発揮できるか、などをめぐって幾多の論争が繰り返されていった。科学の教科としての確固たる地位が確立されたのは20世紀になってからである。

## (2) イギリスの場合

イギリスでは科学が学校に導入されていった過程はドイツとは異なっていた。イギリスに起こった産業革命は、組織的な科学の教育・研究の成果として出現したものではない。産業革命が起った当時は、イギリスの大学や学校では科学の組織的な教育・研究はまだ行なわれておらず、科学の研究は科学者の個人的な努力によってなされていた。しかし、いずれにせよ産業革命の発展は、それまでイギリスの産業を支えてきた小規模の家内工業的工業、ならびにそこで行なわれていた徒弟教育制度を崩壊させていったため、それに代わる教育の場が求められるようになってきた。このようにしてイギリスでは1830年代頃から1850年代ごろにかけて職人や若年労働者を対象とした技術学校 (Mechanics' Institute) が創設され、そこで科学・技術に関する教育が行なわれるようになっていった。非常に不完全なものであったが、イギリスにおける科学教育の始まりである。この技術学校は1850年頃までは急速に普及していったが、それ以降は次第に衰微し、その多くは普通の学校に変わっていった。その頃から一部のグラマースクールやパブリックスクールで科学を教える学校が現われ始めたけれども、教育への国家の干渉を嫌うイギリスでは、国が行政的に科学教育を推進するようなことはなく、科学教育を行なうかどうかは各学校の自主的判断に任せられていた。しかし、19世紀後半になると電気工業、化学工業、冶金工業など高度の科学・技術の裏付けを必要とする新しい工業がドイツに興り、イギリス産業を急迫していった。事の重大さに驚いたイギリスは朝野をあげて科学技術教育振興運動を展開し、1889年には技術教育法、1890年には地方税法が成立し、多額の補助金が科学教育振興のために助成されるようになり、科学教育は急速に普及・充実していった。

イギリスにおいては、スペンサーやハクスレーなど科学教育推進者による啓蒙活動家が科学教育の必要性についての社会的認識を高める上に大きな役割を果たしたが、科学を学校で教えるようになる上に直接的な役割を果たしたのは、実用的・実際的な科学的知識や技術の必要性の高まりである。しかし、科学が学校で教えられるようになると、教養的、一般教育的陶冶価値がないものは教科としてふさわしくないとする伝統的な考えとの軋轢が強まり、科学教育の教育的意義や価値、ならびにそれとの関連で科学教育の目的・目標や教授・学習法に関する問題が活発に論議されていった。ドイツの場合と同じように、イギリスにおいてもこうした論議の中で科学教育は自らの教育的意義と価値を明確にし、教科としての存在を確かなものにしていったのである。

## 2. 科学の教育的価値についての論議と発見的教授法、および理科実験室

### (1) 科学の教育的価値についての論議

科学の一般教育的陶冶価値をめぐる論議においてなされた科学教育推進者たちの主張は次の3点に要約できる。

- ① 文化、社会、生活において大きな役割を果たすようになった科学とはどのようなも

のであるかを知ることとは一般教養として不可欠である。

② 科学的宇宙観，自然観，世界観，人間観，生命観，物質観。ならびにそれに基づく価値観は，万人にとって不可欠な一般教養であり，それを身につける必要がある。

③ 科学的思考力や科学的態度の育成，科学的精神の啓培，問題解決の方法としての科学の方法の習得などは今後ますます重要になる。これからの社会においてますます重要性を増していく科学的能力や態度の育成，科学的方法の習得などは，他の教科の教育からは期待できない，科学教育固有の陶冶的価値であり，科学的知識の教授とともに，科学教育の基本をなさなければならない。

そして，彼等は特に③のための訓練の方法として実験・観察，とりわけ発見的実験・探求をあげ，その重要性を強調した。当時，科学教育推進者たちは例外なくこの問題を論じているが，本小論においては，特に③の立場から生徒自身による発見的実験を学習の基本とする発見的教授法（Heuristic method of teaching）を提唱し，イギリスの理科教育改革運動に大きな役割を果たした化学者アームストロング（H.E. Armstrong, 1848-1937）の考えを取り上げ，それを中心にこの問題を考察する。

## （2）アームストロングの科学教育の目的観と発見的教授法・実験室教授法

アームストロングの発見的教授法・実験室教授法を理解するにあたっては，まず彼の科学教育の目的観を明らかにしておく必要がある。彼は「文学的教科の教育や数学教育を如何に完全にしたとしても，そこからは期待できない人間精神のもう一つの側面の教育」として「有用な知識を教えるのではなく，ある特別な知的訓練を与えること」を挙げ，そこから科学教育の目的を次のように規定していった。

「青少年が自分の頭を使うようにすることや，知性を訓練すること，ものごとを正確に観察したり，正確に考えたりするように訓練すること，また，彼等に目的をもって実験する（探求する）ことを教えること……人生において最も重要な事柄である“なすこと”がどんなに大切であるかを教えること……これが学校における科学教育の目的である」<sup>2)</sup>。（大英協会の要目，要目作成の目的）

「われわれの唯一の目的は，科学の諸分野の知識を教えるのではなく，日常生活における個々人の義務を果たすために必要な諸能力を育成するための手段として，科学的方法で訓練することである」。<sup>3)</sup>（発見的教授法）

「来るべき世代を背負って立つ青少年に思考する頭脳を育成するために，……彼等のあらゆる能力を育成するために，科学的方法のイ，ロ，ハを教えることである」<sup>4)</sup>。（大英協会教育科学部のこれからの仕事）

「科学教育の目的は，科学の諸分野の知識を技術的，専門的に教えることではない。形式的な科学の教授ではなく，科学的方法で幅広い訓練を与えること—探求を通して実際の訓練を与えることである」。<sup>5)</sup>（学校とカレッジの理科実験室）

論文によって多少表現の違いがあるが，彼は「教育の最大の目的は人間形成にあり，自

分自身でものごとを考え、判断し、主体的にものごとをする能力や態度を育てることである」という立場に立ち、そこから科学教育の目的を「科学の諸分野の知識を教えるのではなく科学的能力や態度を育成するために科学的方法で訓練すること」とし、そのための最善の方法として発見的教授法―「生徒に事実を話して聞かせるのではなく、生徒を発見者の立場に立たせ、生徒自身に事実を発見させる方法」―を提唱した。<sup>6)</sup>そして、彼はその学習の場として「実験室」を設定したのである。彼においては実験室とそこにおける実験を中心とする発見学習こそは科学の学習のあるべき姿であり、科学の持つ陶冶的機能はこのような学習を通してはじめて具体化されると考えられていた。

### (3) 実験室＝ワークショップ (Workshop)

アームストロングは実験室ならびに実験室教授法については「発見的教授法」(1898年)をはじめとして多くの論文で述べている。特に「学校における実験室」(1901年)、「学校とカレッジの理科実験室」(1903年)、「なすことによって学ぶこれからの実験室学校」(1936年)において、実験室ならびに実験室教授法についての構想を詳しく述べているが、彼は次のような理由から「実験室」を“ラボラトリー (Laboratory)”と言わず“ワークショップ (Workshop)”と呼ぶように主張していた<sup>7)</sup>。

① 初等・中等学校における科学の学習では、生徒は講義を聞き、筆記し、暗記するという知識注入式教授が中心で、科学の基本とも言うべき研究的・問題解決的側面が無視されており、科学的能力や態度を育成するような教育はなされていない。学校における科学教育は大学におけるような専門的立場から自然科学を教えるべきではない。初等・中等学校においてはあくまでも一般教育の立場から、科学とは何か、科学研究とは何かなどを理解させるとともに、その過程で科学的思考力や科学的態度の育成、科学的方法の習得、科学的精神の涵養などをめざさなければならない。そのようなときに、大学で一般に用いられている“ラボラトリー”という言葉そのまま初等・中等学校で用いれば、大学におけるような形式化した権威主義的・専門的研究や教育がそのまま初等・中等学校の科学教育に持ち込まれ、科学教育の正しいあり方の妨げになる。

② “ラボラトリー”という言葉は、ラテン語で“ワークショップ”という意味であるが、この言葉はイギリス人にとっては馴染みが少ないし、ラボラトリーよりもワークショップの方が、そこで行なわれる学習に幅広い意味を与える。学校における学習は、大学におけるような専門的技術的な教授ではなく、基礎的・基本的な幅広いものでなければならない。

彼が構想した“ワークショップ”は、普通われわれが理解している「実験室：ラボラトリー」と変わらないが、あえてそれをワークショップと呼んだところに実験室ならびに実験室教授法についての彼の意図がよく示されているように思われる。もともと、アームストロングは当時イギリスの初等・中等学校に行なわれていた知識注入的・暗記中心の教育は言うまでもなく、大学における権威主義的・講義式教授に対しても厳しい批判を加え、



その抜本的改革を求めている。しかし、もし仮に大学における科学教育が望ましい形で行なわれていたとしても、それをそのまま初等・中等学校の教育に持ち込むべきではないとする彼においては、抜本的な改革を必要とするような当時の大学の科学教育を初等・中等学校にそのまま持ち込むことは許されるべきではなかった。一般教育という立場から考えなければならない学校の科学教育と、専門的・職業的教育として行なわれる大学の科学教育とは、基本的に異なったものであることを認識させ、一般教育としての科学教育のあり方を明示するためにも、大学で用いられているラボラトリーという言葉を用いるのを避け、ワークショップという言葉を用いたことに、彼の実験室教授法に対する考えがはっきりと示されているように思われる。

#### (4) 実験室＝ワークショップの施設・設備

「あらゆる実地的な作業をする場所」という彼の実験室＝ワークショップには、次にあげたような施設設備に加えて、さらに旋盤、ドリル、電動のこ、金床、金工具、木工具は言うまでもなく冶金設備も求められていた。

##### 「設備施設」

##### (a) 実験台

- ・教師用実験台・・・教師が演示実験をする実験台。教師用実験台の前には、生徒が教師の演示実験を見るための広い場所が必要である。
- ・生徒用実験台・・・水を使うのに適した実験台と、水を使わない実験に使う2種類の実験台が必要である。実験台には硬い木材製がよい。表面には化学薬品や熱に強い塗料を塗っておく。実験台ではガスが使えるようにする。普通、実験台は動かないほうがよいが動かすことができる実験台を作っておくと便利なこともある。

##### (b) 筆記用机

教師の説明を聞いたり、実験の記録を整理するための机で、教師用実験台の前に配置する。立ったままでノートが取れるようにしておくと便利である。

##### (c) 天秤台

特別な天秤室を作る必要はない。天秤台は実験室に置く。天秤は精密なものを用いる。天秤台には適当な大きさの孔をあけておき、天秤皿から孔を通して物を吊り下げて重さが測れるようにしておく。

##### (d) 水道・流し

- ・流しは、壁にそって1～2箇所設ける。流しには陶磁器製のものや鉛張りのものなどあるが、ガラス器具を洗うときガラスが壊れるのを防ぐため木製がよい。
- ・生徒用実験台に流しを取り付けたものがあるが、そこで器具を水洗すると、その周辺が水で濡れるので、生徒用実験台には流しをつけないほうがよい。

##### (e) 電気・照明

実験室を明るくするため、適切な照明器具を取り付ける。生徒用実験台でも電気が使

われるようにしておく。

(f) ガ ス

全ての実験台でガスが使われるようにする。ガス管は実験台の上に杵状に組み、実験時にいろいろなものを吊すことができるようにする。

(g) 換 気 装 置

実験室には換気のため電気換気扇を1～2台取り付ける。

(h) 壁

壁側には戸棚その他を置くが、空いている所には、力学の実験ができるように杵を取り付ける。

(i) 天 井

天井には栈を取り付けておき、滑車などを吊すことができるようにしておく。

(j) 暖 房

スチーム暖房が望ましい。

(k) 準備室・保管室

実験室には準備室と保管室を付設する。機械器具、薬品などの保管、実験の準備や実験中の装置などを保管する。

(l) 暗 室

光学用暗室と写真用暗室の2種類の暗室が必要である。

(m) 工作用器具

いろいろな木工・金工具はいうまでもなく、旋盤、ドリル、万力、電動のこ、冶金設備なども設置する

アームストロングが構想した実験室は、1902年に発見的教授法の実施に協力したクライストホスピタル校に作られたが、今日のわが国の理科実験室と比較しても決して見劣のしないものである。加えて、彼は実験室が備えているべき基本的要素として次の3つの事項をあげており<sup>8)</sup>、これらは今日でも参考にすべきものである。

① 簡素であること

科学の研究は、どのようなものであってもできるだけ単純、簡潔でなければならない。実験室や実験施設・設備も同様である。特に生徒自身が発見的に行なう実験においては、必要以上に複雑な器具や装置を用いるのは望ましくない。実験の目的を単純な形で達成できるような簡単で単純な器具・装置を用いることが望ましい。

② 広い空間を持っていること

生徒が実験を安全に支障なく行なうため、実験室はできるだけ広くする。

③ 教育の場にふさわしい雰囲気を持っていること

実験室が学習の場、研究の場である以上、それにふさわしい落ち着いた雰囲気が必要である。生徒が部屋を汚したり、ドアを足で蹴って開けたり、部屋を壊したりするのは、学

校の建物自体に物を大切にすることを起こさせたり、気持ちを和らげ、落ち着かせるようにする配慮が欠けているからである。したがって、実験室にも、美的・芸術的装飾など教育的雰囲気をもたせるための配慮をする必要がある。

普通、実験室は実験を行なうための便利さが優先され、実験室をきれいな、感じのよい場所にするということについてはあまり配慮がなされていない。そうした中であってアームストロングは教育的雰囲気をもたせるような配慮を実験室の基本的要素の一つとして取り上げた。われわれはこのような見解の中に、実験室も含めて教育の場は常に品性陶冶の場でなければならないとする彼の考えを見ることができる。

### 3. 実験室教授法の意義

アームストロングは学校における理科実験室＝ワークショップを「生徒が自由に動き回り、あらゆる実地的な作業をするところ」<sup>9)</sup>と説明している。彼の言う実験室教授法がどのようなものであるかは、この言葉によく言い現されているが、彼がこのような実験室教授法を提唱した意図を理解するため、今一度当時の科学教育、並びに実験室の実態を振り返って見ておきたい。

#### (1) 大学における実験室

学校における実験室の原型となった実験室が大学において設立されたのは決して古いものではない。世界最初の近代的実験室と言われ、数々の優れた研究から当代随一と言われたギーセン大学のリービッヒの化学実験室が設立されたのは1825年であった。当時、科学者が研究の場として使っていた実験室は、一般に極めて貧弱なもので、最初から実験室として作られたものではなく、物置とか台所などが使われていた。たとえば、化合物の分析による原子量の決定、セリウム、トリウム、セレンの発見、触媒の概念の確立、化学用語の制定など化学の発展に多大の貢献をしたベルツェリウス (J.J. Berzelius, 1779~1848) の実験室も台所であったと言われている。このような状況にあった当時としては、ギーセン大学のリービッヒの化学実験室（施設・設備は今日の高等学校の化学実験室程度のものではなかった）は画期的なものであった。湯浅光朝はこの実験室について次のように述べているが、その後ドイツの大学に設置された実験室はリービッヒの実験室がモデルとなったことはよく知られているところである。

「ギーセンの化学実験室は、かつてのラヴォアジエの実験室がそうであったように、ヨーロッパ随一の進歩的な実験室となった。ヨーロッパ各国から最も才能ある青年がそこに集まった。世界のどこにも末だかつてなかった程の一大活動が開始せられた。明け方から夜にいたるまで休みない実験と討論がつづけられた」<sup>10)</sup>。

一方、イギリスの大学では、1660年頃オックスフォード大学に実験室が一つ設置されたが極く短期間存在していたにすぎなかった。1830年代になってグラスゴー大学にトムソン教授が実験室を設置し、また、1866年にはケンブリッジ大学に本格的な実験室が作られ、

次いで2年後の1868年にはオックスフォード大学に実験室が設置されたけれども、ドイツに比べて質・量ともに遅れをとっていた。

これより先、リービッヒの2度にわたるイギリス訪問を契機にして、1845年にロンドンに王立化学カレッジ (Royal college of chemistry) が設立されたとき、ボン大学からホフマン (A. W. Hofmann) が招請され、そこでの研究・教育の指導にあたった。その組織・設備は、ドイツ流の、つまり実験室での実験研究を基本とするリービッヒ流の研究方法が導入され、それを基に化学の研究・教育が始められた。1856年にコールタールからアニリン染料を発見し、人工染料化学の端緒を開いたパーキン (W. H. Perkin) はホフマンから指導を受けていたし、後に発見的教授法を提唱し、イギリスの理科教育改革のみならず、ドイツ、フランス、日本の理科教育にも大きな影響を与えたアームストロングもまたここ王立化学カレッジで学び、実験を基本とする科学の学習についての彼の考えの基礎がつくられていった。

## (2) イギリスの中等学校における実験室

イギリスでは産業革命と自然科学の発展とともなって、19世紀中頃から科学が徐々に教えられるようになっていったが、19世紀後半になると、特にドイツの産業の急追を受けて展開された朝野をあげての科学技術教育振興運動により、科学教育は急速に普及していった。しかし、その科学教育には当時の学校教育に支配的であった人文的教科の教授法、つまり知識注入的講義式教授法がそのまま適用されていった。1860年代になってから科学教育振興のために設置された科学技術局の「試験結果による助成金の交付制度」は科学教育の普及に非常に大きな役割を果たしたけれども、その反面、試験のための知識の網羅的・暗記式教授に拍車をかけることになり、科学教育を歪なものにしていっていった。その頃の科学教育のようすをイギリスの文部省は次のように述べている。

「生徒は教室に閉じこめられ、校外で自然を学ぶ機会とは与えられなかった。“黒板とチョーク”という身近な道具さえも使われなかった。試験要目のほとんどは、彼等にとっては不適当なものであり、そこに書かれている原理を理解するよりも、教科書を暗記することが主であった。教科書を使うことができないところでは教師がノートをゆっくり読み、生徒はそれを筆記し、暗記する方法がとられた。授業では試験に必要なところだけが非組織的に選ばれ、それを中心に学習が行われていた。生徒は非創造的なやり方で“ガリ勉”させられていたのである」<sup>11)</sup>。

この文部省の報告と同じことをアームストロングは「学校における実験室」(1901年)の中で次のように述べ、その改善の必要性を強調するとともにその改善策として実験教授法の適用を強く訴えたのである。

「現在、われわれは生徒をずっと机に座らせたままにし、講義に次ぐ講義をもってしている。彼等の大部分は、教師や本から知識を得ているだけである。彼等の主な目的は記憶の箱を満たすだけである。私は、問題の形をとった課題を与え、生徒にそれを実験的に研

究させたい。教師は助言者として活動するだけにし、生徒が自分で学習するような方法をとりたい。そうすると生徒は主体的、自主的に物事をするようになっていくであろう。生徒は物事をよく観察し、自分で考える人間になっていくであろうし、創造力も豊かになっていくであろう。もし適当に指導されれば、物事を正確に行なうようになるであろう。“オーム”になるのではなく、自分で考え、自分で行動することを学んでいくであろう。他にどのような方法をとっても、このような教育を行なうことはできない。われわれは生徒のこのような実際の側面を開発しなければならない。このような教育の重要性について教師はもっと関心を持ってもらいたい。このような教育法は、教師が普通行なっている教授法とは異なっており、馴染みが少ないから、それを実行するのは困難であることは理解できる。しかし、どうかそれを試みてもらいたい。経験が得られるにつれて、その良さが分かってくるであろうし、それを行なう力もついてくるであろう」<sup>12)</sup>。

教えられたことを試験のために暗記するだけの授業ではなく、生徒が主体的に問題に取り組み、自己活動を通してそれを解決していくような学習こそが科学の学習の本来のあるべき姿であり、それを具体化していくためには、自然科学の研究手法、つまり実験室での実験・観察を中心とする研究方法を適用していくのが最も効果的であると考えていたのである。彼が実験室教授法を理科学習の基本とする理由はここにあった。

これより先、イギリスの科学教育の実態調査に関する「科学教育並びに科学振興に関する王立委員会(デボンシャー委員会)」の第6報告書(1875年)によれば、調査に応じた128校中、実験室を持っていたのは僅か13校、実験器具のあった学校は18校にすぎなかった<sup>13)</sup>。実験室は教室とは異なり、給排水、ガス、電気、実験機器、実験台、薬品、戸棚、その他実験を行なうためにいろいろな器具・機械・設備を必要とするだけでなく、実験には多くの薬品や器具が消耗されるので多額の経費を必要とする。したがって、経済的に豊かな学校でなければこのような経費のかかる実験室をつくり、実験を学習に取り入れることはできないであろう。このような状況の中で実験室をつくり、実験を行なうには、科学の実験の持つ教育的価値についての深い理解と認識を必要とする。当時の学校の経済的状況からすれば、理科実験室や実験機器を設置したくてもできない学校もあったであろうが、いずれにせよデボンシャー委員会の報告は科学実験に対する当時の認識がどのようなものであったかをよく示しているように思われる。

1870年代に入ると、次第に高まっていった科学教育振興の動きの中で、幾つかの教育委員会は、ハクスレーやドネリーなどによって提案された「巡回科学教師制度」を採用して実験室の不足を補う努力をしていった。巡回科学教師制度というのは、必要な実験機器が保管されている中央実験室から必要に応じて必要な機器を持ち出して要請を受けた学校を訪問し、実験を中心に授業を行なうという制度である。この制度は実験室や実験機器が十分に備わっていない時代には、それなりに成果を挙げた。1880年代になると科学技術教育振興の気運は一段と高まり、技術教育法(1889年)や地方税法(1890年)が成立し、多額

の酒税が科学技術教育のために使われるようになり、実験室の設置が著しく促進されていた。ちなみに1877年から1902年までの25年間には、1100校もの学校に実験室がつくられ、一つの学校に少なくとも一つの実験室があるのは常識的なことにまでなっていた<sup>14)</sup>。

しかしその一方、たしかに実験室の設置や実験機器の充実、学校で実験を行なうための不可欠な条件ではあるが、これらが整備・充実されることと実際に授業において実験が効果的に行なわれることとは別問題である。教師が教室で講義によって知識注入的に行なうものではなく、実験室で生徒自らが発見者・探求者の立場立って、生徒自身で事実を見出していくことを学習の基本とする実験室教授法は、当時新興の新しい科学の研究方法の学校教育への導入であったが、それが科学の学習の一部として広く行き渡るには相当の時間を要した。

もともと、近代自然科学はニュートン、ガリレー、パスカル、トリチェリーなどの研究に代表されるように、既存の知識や権威に拠り所を求めるのではなく、実験・観察から得られた事実に基づいてのみ考えていくことを通して確立されていったものである。実験・観察こそは近代自然科学の基礎である。それと同じように、科学教育においてもその学習が教科書に書かれている知識の教授だけに止まっているのであれば、ルネッサンス期以前の教育以上には出ることはできないと言えよう。科学教育が近代的要素を持つためには実験・観察を基本とする科学的研究のし方が科学の学習方法とならなければならなかった。換言すれば、実験・観察、とりわけ探求的、発見の実験・観察が科学教授の基本的要素の一つとして取り上げられるようになった時点において、近代的な科学教育が始まったと言えることができるであろう。そして、このような実験室教授法により、子どもが学習の主体者として自己活動的に学びとっていくことを基本とする近代教育の基本的原理は、実験室における発見的学習・探求の形に具体化されていった。実験室教授法はそれまで別々に発展を遂げていた近代自然科学の基本をなす研究法と、近代教育の基本原則との統一であり、それによって近代教育の原理は自らの理念を論旨どおりに実践する具体的な方法と内容を得ることができたのである。

### (3) 実験室における発見的学習

科学の学習で行われる実験には、演示実験、検証実験、発見の実験、定性実験、定量実験、グループ実験、生徒一人一人が行う個別実験など授業の目的によっていろいろな種類の実験が適用される。このうち科学的思考力や態度の育成、科学的方法の習得などを主要な目的とする発見的学習においては、当然のことながら発見の実験が基本となる。アームストロングの発見的教授法の場合はまさしくそうであった。論理的思考力の訓練には定量的データがあると効果的なため、彼においてはことさらに定量的実験が強調された。そこでは生徒が日常生活の中で直面し、経験するものの中から問題を見出し、問題解決の予想を立て、問題解決の方法を検討し、実験装置を作り、実験を行ない、得られたデータを検討して結論を出し、それを全体で討議し、まとめていくという手順で学習が進められてい

く。もちろんその際、教師の指導・助言が必要であるが、生徒自身が発見者の立場に立って、生徒自身で事実を見出していくことを学習の基本としている発見的教授法においては、教師の指導・助言は必要最小限に止めなければならない。

しかし、発見的教授法においては、問題の設定は不用意にはできない。生徒が興味・関心を持つものが題材に選ばれたとしても、生徒自身で実験を通して問題を解決できないような問題が設定されては学習そのものが成立しなくなるからである。題材は生徒が興味・関心を持っているものなら何でもよいというものでもない。科学的訓練を目的にしている発見的教授法においては、生徒自身で問題を実験的に定量的に解決できるものでなければならない。そのため、題材の選定にあたっては、経験や知識の乏しい、問題解決の見通しが十分にできない生徒にすべてを任せることはできない。しかも、その時もし教師の指導・助言が過度に行なわれれば、生徒自身の思考や活動が妨げられ、思考の訓練の機会が失われ、この学習の目的が損なわれる危険性がある。問題が設定されると、生徒自身で問題解決の方法を検討し、必要な実験装置を作製する。特にアームストロングの発見的教授法では次のような理由から、生徒による実験装置の自作が重視されていた。

- ① 問題解決の方法を考えたり、実験装置を工夫して作製することは、創意創造、工夫考案の能力、実際にものを作る技能の訓練、材料を有効に使う心構えの育成などにとってのよい機会である。
- ② 生徒が問題解決の方法を考え、実験装置を作るにあたっては、実験の目的がはっきりと理解されていなければならないから、こうした作業は、生徒に学習の目的を理解させるとともに、目的をもって行動する習慣・態度育成の機会となる。
- ③ 科学における問題解決のし方や科学的研究方法を理解させる機会となる。

単に知識の教授だけでなく、また、論理的思考の訓練だけでなく、実験を通しての問題解決の過程における実際的な思考や作業にも教育的意義を見いだすアームストロングにおいては、「既成の機器を与えることは、貴重な教育の機会を失い、測り知れないような損害を与える」<sup>15)</sup>以外のなにものでもなかったのである。

行なわれる実験においては、常に創意創造、厳密、正確、慎重、周到であることが強調されていた。たとえば「アルキメデスの原理」についての学習を例にとると、物体を水中に入れたときの重さをどのようにして測定するか、そのためにはどのような装置を作成すればよいか、という実験装置の作成から始まり、石だけでなく、鉄、銅、鉛などいろいろな物体についても調べることが求められていたし、その際用いる物体は重さを等しくしておけばよいのか、体積を等しくしておけばよいのかの検討も求められていた。測定は一回だけでなく数回繰り返して行ない、その正確さを期さなければならないし、また、液体という一般化した表現をするためには、水だけでなくアルコールや油などを用いて調べてみる必要性も指摘されていた。データを取るにあたっては、写真やグラフを用いることも奨められていた。

実験によって問題を発見的に解決していくことを学習の基本とする発見的学習においては、非常に多くの時間がかかるけれども、その割には得られる知識は僅かである。しかし、科学的方法による問題解決の過程で、科学的思考や科学的態度の育成、科学的方法の習得を目的にする学習は、もともと知識の蓄積を目的にしたものではないから知識量は限られたものにならざるを得ない。知識の学習をどうするかは、実験・観察を中心とする学習における問題の一つであるが、少なくともアームストロングは次のような理由から、たとえ時間がかかっても発見的・探求的学習を行なう必要があることを主張していた。

「“本を見れば簡単に知識を得ることができるのに、何故面倒くさい、時間がかかり、努力した割合には僅かな知識しか得られない実験などしなければならないのか”。このような質問をよく聞くことがある。彼等は目的が何であるかを知っていない。彼等は研究の方法や、如何にして知識が得られるかということ、教科書などに書かれている知識の使い方を学んでいること、自分で何かをしなければならなくなったとき、どのようにしていけばよいかを学んでいるのだということを理解していない」<sup>16)</sup>。

「文学や数学の学習は内省的な態度を身につけさせるかもしれないが、多くの場合それらは社会における仕事のための準備にはなっていない。これからは男の生徒でも女の生徒でも勉強は机について行なうだけのものに限定されてはならない。たとえそれが他人によって既になされていることを繰り返すことであったとしても、単に本を読むだけではなく、如何にしてそれがなされたかということを知ることによって学ばなければならない。身の回りに起っている事が何であるかを知るためには、自分の眼を使い、手を使い、頭を使うことを学校で教えなければならない。こうした眼や手、頭を使うことは、黒板やチョーク、講義実験、演示実験だけで教えられるものではない。生徒一人ひとりが実際に行なってみなければ体得できないのである。このような学習は学校に入ったら直ちに始めなければならない。高度に発達させることができる能力が学校にいる間に無視されて萎縮させられるようなことがあってはならない」<sup>17)</sup>。

既に繰り返し述べてきたように、アームストロングの発見的教授法は知識の教授を目的としたものではない。科学的方法に基づいた問題解決の過程で、科学並びに科学の研究方法がどのようなものであるかを学ぶとともに、実験によって得られた事実から論理的に思考する能力、分析的、総合的に考える力を育て、独断、偏見、先入観、主観を交えず、私見を排し、客観的に、注意深く、慎重に、周到にものごとをしていく態度を育成することなどを目的としたものであった。そして、彼はこれらの目的は、生徒自身が発見者の立場に立ち、発見的に探求をしていく過程ではじめて可能になると考えていたのである。彼においては、これこそは文学や数学その他の教科の教育を如何に完全にしたとしても、そこからは期待できない科学固有の教育的価値であり、たとえ問題解決に多くの時間がかかったとしてもそこから得られるものは、知識注入的、講義式教授に比べて遙かに大きな価値があると考えられていた。



本小論では紙面の都合上省略したが、発見的教授法による学習には多くの問題があり、それが発見的教授法に対する批判の大きな要因となっていた。しかし、教室における教師中心の講義式教授が学習のすべてであった当時、これを強く批判し、生徒自身による探求を科学の学習のあるべき姿として科学教育の改革に取り組んだアームストロングの発見的教授法は、カーチス (Curtis, S. J.) が述べているように、科学の学習の基本的あり方を確立するとともに、ドイツやフランス、わが国の科学教育にも大きな影響を与え、科学教育の確立に大きな役割を果たしたのである。

「アームストロングの発見的教授法は、実物教授に弔鐘を鳴らし、科学の学習は教室ではなく、実験室で行なうものであるという考えを確立した。初等理科はそれによってさらに実際的になり、教師の説明を中心とする授業や演示実験は、生徒自身が実験し、得られたデータから生徒自身で結論を出していく実験室教授法に代わっていった」<sup>18)</sup>。

#### 4. 近代教育の原理 — 自己活動の原理と自然科学の研究手法との統合とその意義

科学教育の成立に大きな役割を果たした実験室教授法は、近代教育史上特筆すべき意義を持つものであった。それは、子どもの自己活動を学習の根本原理とする近代教育と自然科学の研究手法を統合することによって、従来理念の段階以上に出ることができなかった近代教育の自己活動の原理に具体的な方法と内容を与え、それを論旨どおりに実践することを可能にしたことである、

ルソー、ペスタロッチ、フレーベルなどが近代教育の確立に果たした最も画期的なことは、教師が教え、子どもはそれを聞き、筆記し、暗記することを基本としていた教授・学習を、子どもが興味・関心・必要に基づいて、主体的に意欲的に学習に取り組み、子どもの自己活動を通して探求し、学び取っていくこと基本とする教授・学習へと転換したことである。学習の主体は子どもであり、教師はそれを側面から援助するという“学習主体”の転換こそは、近代教育の根本原理をなすものであった。

ルソーは、当時一般に行なわれていた、子どもの生活にとって意味のない無関係な知識を、子どもの興味・関心・必要、能力などを考慮せず、書物を読ませ、暗記させることによって詰め込むような教育を徹底的に批判し、子どもが自らの興味・関心・必要に基づいて、子どもが自分で事実を調べ、観察し、探求し、問題解決していくような学習を学習のあるべき姿とした。彼のこのような学習のあり方は「子どもに科学を教えるな。子どもに科学を創造（発見）させよ」という言葉によく言い表わされているが、彼のこの言葉は、1970年に作成されたイギリスの理科教育協会の「13歳以下の理科教育」のモットーとして「まえがき」にも引用されている。この言葉に代表されるようなルソーの教育論を梅根悟は次のように述べ、その意義を高く評価している。

「……これはまさに近代教育学の夢である。そこには詩人的な空想さえまじっているかも知れない。だが本質的にそれは決して実現不能な夢ではないであろう。それ故に彼以後

の教育学はこの夢の具体化を根本の課題として前進を続けているように思われる。ルソーのこの夢がいかな形で実現されようとするのか、そのさまざまな意見と実践はこの夢とどれだけ近く、また、どれだけ遠いか、それが彼以後の教育学、従って又理科教授論の展開を見定めるための尺度であると言ってもいいであろう」<sup>19)</sup>。

事実、ルソー以後の教育学は、彼が描いた夢の具体化の方向に進んでいった。そして科学教育もまた同じ方向を辿って発展していった。ルソー以降科学教育の推進に顕著な働きをした一人に、19世紀前期から中期にかけてペスタロッチ主義教育の発展に大きな役割を果たしたディーステルヴェーク (F. A. Diesterweg) がある。彼は物理学、化学、博物学、天文学などの学習の重要性を強調するとともに、その学習にあたって、子どもが発見者の立場に立ち、科学的方法に基づいた観察・実験を通して子どもが生活の中で直面する問題を解決していくことを学習の基本とする発見的・開発的方法を提唱した。彼の提唱した発見的・開発方法は極めて進歩的であったが、彼自身は科学の専門家ではなかったこともあり、授業実践の面で大きな問題を持っていた。彼は科学については深い理解と認識を持っていたけれども、発見学習を効果的に実践していくための題材の選定や、問題解決のための実験・観察の方法、実験手順などに適切に対応することができなかったのである。しかし、これは彼の論自体に問題があったのではなく、彼の時代にはこれらの問題を効果的に解決していくために必要な実験・観察そのものがまだ開発されていなかったし、彼自身そうした実験・観察を開発していくことができる専門家でもなかった。発見学習がどのように立派に構想されていても、子ども自身でそれを実験的に解決できる問題や実験方法の設定、実験装置の作製、手順の決定などが的確に行なわれなければ、それは理念以上にすることはできない。たしかに彼は発見的・開発的学習を一般教育の方法として位置づけ、その実際的方法として帰納的方法を取り上げ、それを授業において試みる段階にまで高めたけれども、論旨どおりに実践できるまでには至っていなかったのである。それが授業の中で具体的に実践されるためには自然科学側からの参加が必要であった。そして、それは19世紀末期のイギリスのアームストロングまで待たなければならなかったのである。

近代教育の基本をなす「子どもの自己活動」の原理は、理念としては早くから提唱されており、野外観察などがその実践の主なものであった。しかしそれは実際には野外散歩的、遠足の状態に終始することが多く、厳密な科学的観察を通しての観察力や感覚の訓練にまで高められることは殆どなかった。ペスタロッチによって提唱された直感的認識の学習の場であり方法であった「実物教授」は、本来は子どもが日常生活の中で直接経験する事物現象に興味・関心を持たせ、意欲的にそれを調べ、その実態を明らかにし、あるいはその中で問題の解決に取り組み、子ども自らの探求的活動を通してそれを解決させていくことを意図したものであった。しかし、結果的には物を見せるだけの諸物を示教するだけの学習以上には出ることはできなかった。

コメニウス、ルソー、ペスタロッチ、フレーベルなどによって子どもの自己活動が教

育の基本原理として位置づけられていた当初は、主として観察力や認識の根本をなす感覚の訓練が主となり、科学的思考力や科学的態度の育成、科学的精神の涵養、科学的方法の習得などについては論究されることは殆どなかった。科学的思考力や態度の育成科学的方法の習得などが科学教育の目的として論じられ、強調されるようになったのは、大学が物理や化学の研究・教育に門戸を開き、公的な中等学校において科学教育が組織的に必修科目として教えられるようになった19世紀中期以降であり、教育における実質陶冶論と形式陶冶論の論争の中で形式陶冶論が優勢になった頃からである。

科学的思考力や態度の育成、科学的方法の習得はもちろん観察を通して行なうことはできる。しかし、厳密な定量的測定を基本とする実験の方がこれらの訓練には効果的であり、また、容易である。こうした実験が科学教育の中に取り入れられるようになったのは、1809年ベルリン大学創設後、ドイツの大学に広く科学の研究・教育の組織が確立され、特に1825年にリービヒがギーセン大学に化学実験室を設置し、実験を中心とする研究のし方が大学における科学研究のあり方として普及してからのことである。このような実験室における発見的学習を科学教育の中に導入した実験室教授法は、まさしくその点において近代自然科学の研究方法と、子どもの自己活動を基本原理とする近代教育との統合であり、近代教育の発展に新たな要素をもたらしたのである。

## おわりに

近代教育の基本的原理である子どもの自己活動が、野外散歩的観察の段階を脱却して、厳密な科学研究の段階にまで高められるためには実験室の設置、ならびに実験室教授法は不可欠であった。しかし、それが広く普及するのは19世紀末期から20世紀初頭にかけてのことである。それに至るまでには長年にわたる努力と、そこでの学習のあり方をめぐっての論義が必要であった。そこで繰り広げられた論義は主として実験室教授法の陶冶価値に関する論義であり、実験室教授法を確立する上に不可欠なものであった。実験室教授法はこうした過程を経て自らの教育的価値・陶冶的価値を明確にすることができた。

近代教育の基本をなす子どもの自己活動の原理は、理念としては早くから確立され、野外観察や実物教授などの形で実践されていた。しかし、それが、科学的思考や科学的態度の育成、科学的精神の涵養、科学的方法の習得など自然科学の研究から由来する自然科学の本質的なものと結びつくことは容易ではなかった。実験室における子どもの発見的・探究的活動を学習の基本とする実験室教授法によって初めてそれが可能になったのである。

実験室教授法は子どもの自己活動に真の教育的意味と具体的な方法、内容を与え、自然科学の本質とも言うべき実験的研究と、近代教育の基本的原理とを実験室における学習の形において統一したものであり、われわれはここに近代教育の発展に果たした実験室教授法の役割と意義を見出すことができる。

## 引用文献

- 1) 皇至道「独逸教育制度発達史」柳原書店, 昭和18年, pp.244-245, 255, 264.
- 2) British Association for the Advancement of science, *Reprot of the Fifty-Nineth Meeting* 1889, John Murry, 1890, p.230.
- 3) Armstrong, H.E., *The Teaching of Scientific Method and other Papers on Education*, Macmillan, 1925, p.270.
- 4) *ibid*, p.33.
- 5) *ibid*, p.453.
- 6) *ibid*, p.236.
- 7) *ibid*, p.453.
- 8) *ibid*, p.455.
- 9) *ibid*, p.259.
- 10) 湯浅光朝「解説 科学文化史年表」中央公論社, 1950, p.81.
- 11) Ministry of Education Pamphlet No. 38, *Science in Secondary School*, Her Majesty's Stationery Office, 1960, p.16.
- 12) 上掲書3, p.185.
- 13) *Sixth Report of the Royal Commission on Scientific Instruction and the Advancement of Science*, Her Majesty's Stationery Office, 1875, p.1.
- 14) Sutcliffe, A., *Student's Laboratory in England, A Historical Sketch*, The School Science Review, Vol. XI, No. 42, 1929, p.70.
- 15) 上掲書3, p.273.
- 16) 上掲書3, p.9.
- 17) 上掲書3, pp.8-9.
- 18) Curtis, S. J., *History of Education in Great Britain*, University Tutorial Press, 1961, p.130.
- 19) 梅根悟「初等理科教授の革新」誠文堂新光社, 昭和23年, pp.38-39.

## The Formation of Science Education and the Laboratory Teaching

Tomosuke TERAOKA

*Department of Applied Science,*

*Faculty of Science*

*Okayama University of Science,*

*Ridai-cho 1-1, Okayama 700, Japan*

(Received September 30, 1995)

This research dealt on the function and the importance of laboratory teaching method that evolved from formation and development of science education.

Science as is being taught in the schools seemingly follows the didactic method of teaching in the field of humanities which allows the learners to listen and memorize the knowledge from the teachers. This method of teaching science has been challenged thereby requiring the need for some innovative changes. This innovation has lead to the formulation of the laboratory teaching method. The laboratory teaching method has promoted the chance for learners to act as scientists and discoverers by solving problems using experiments based on the scientific method, which enables them to deal with lessons to gather facts by themselves. This laboratory teaching method is known to be included as a part of the science education research method of the natural science. This method has provided 4 important meanings to the history of science education, which are shown below:

1. The basic style of teaching and learning in science education enables the solution of problems by discovery with the use of the laboratory room by the learners.
2. The organization of a new field of science education which has the objective of developing the scientific logical thing skills and attitudes and the acquisition of the scientific method has been made through the laboratory teaching method.
3. The laboratory teaching method allows implementation of the basic principle of modern education, as the fundamental of learning, since "the self-activity of the child" could be incorporated simultaneously with the research method of the natural science.
4. The laboratory teaching method has merged both in science teaching the research method of the modern natural science and the "principle of self-activity" of modern education thereby promoting the status of modern education from theory into actual practice.

The laboratory teaching method, based on the above mentioned points, has provided and important contribution to the development of modern education.